

УДК 669.018.9

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВОЙ МАТРИЦЫ

Максим Сергеевич Холин

Студент 4 курса,

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Т.В. Соловьева,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Создание нового класса материалов, называемых композиционными, - одно из наиболее крупных достижений в области материаловедения за последние десятилетия. Большой интерес к этим материалам вызван высоким уровнем их конструкционных свойств, которые позволяют существенно повысить надежность и весовую эффективность, снизить материалоемкость изделий.

Особый интерес представляет композиционный материал системы Al - Al₂O₃. Композиционные материалы с металлической матрицей, упрочненные частицами, широко используются в аэрокосмической, авиационной и автомобильной промышленности из-за повышенного удельного модуля упругости, высокой удельной прочности, износостойкости, хорошей коррозионной стойкости. Кроме того они не горят, не поглощают влагу, имеют хорошую электро- и теплопроводность, стойки к действию света и радиации. Такие композиты изготавливаются различными способами, большинство из которых требует значительных денежных затрат.

Многие из существующих методов изготовления композиционного материала относятся к порошковой металлургии, следовательно, связаны со всеми присущими ей трудностями. Некоторые из них: сравнительно высокая стоимость металлических порошков; необходимость спекания в защитной атмосфере (что увеличивает себестоимость изделий); трудность изготовления в некоторых случаях изделий и заготовок больших размеров; сложность получения металлов и сплавов в компактном беспористом состоянии; необходимость применения чистых исходных порошков. Ясно, что получение композитов порошковой металлургией относится к дорогостоящим методам. Вследствие этого в настоящий момент актуальна разработка новых экономичных способов производства композиционных материалов с металлической матрицей, упрочненных частицами.

Использование пластической деформации может создать условия, необходимые для схватывания металла и получения сплошного прочного соединения. Поэтому параметры процесса пластической деформации оказывают решающее влияние на качество получаемого соединения.

Особенностью деформации многослойных композиций является различие свойств их составляющих, приводящее к неравномерному распределению деформации между слоями. Это вызывается тем, что в большей степени деформируется металл, обладающий меньшим сопротивлением деформации. Кроме того, деформация многослойного тела в отличие от деформации монолитного тела происходит в условиях межслойного трения. Это относится к тому периоду процесса, когда еще не произошло прочного соединения слоев композиции.

Для получения композиционного слоистого материала системы Al - Al₂O₃ с повышенной удельной прочностью были использованы смеси порошков Al и Al₂O₃ в необходимых пропорциях, а именно:

1. 99 % Al + 1 % Al₂O₃

2. 97 % Al + 3 % Al₂O₃
3. 95 % Al + 5 % Al₂O₃
4. 90 % Al + 10 % Al₂O₃
5. 85 % Al + 15 % Al₂O₃
6. 75 % Al + 25 % Al₂O₃
7. 50 % Al + 50 % Al₂O₃

Физические свойства порошков Al и Al₂O₃ представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. Физические свойства порошка Al

Внешний вид	Порошок серого цвета, сильно агломерирован
Средний размер частиц, нм	25-40
Насыпная плотность, г/см ³	0,30-0,37
Удельная поверхность, м ² /г	18-20
Температура плавления, °С	640

Таблица 2. Физические свойства порошка Al₂O₃

Внешний вид	Чешуйки серого цвета, собранные агломераты
Средний размер частиц, нм	20-30
Насыпная плотность, г/см ³	0,70
Удельная поверхность, м ² /г	20-25
Температура плавления, °С	2044

Использовали также фольгу А5 (ГОСТ 618-73), химический состав которой представлен в таблице 3, механические свойства – в таблице 4.

Таблица 3. Химический состав фольги марки А5.

Химический состав, %							
Al, не менее, %	Примеси, не более, %						
	Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Прочие примеси	Сумма
99,5	0,30	0,25	0,02	0,06	0,02	0,03	0,50

Таблица 4. Механические свойства алюминиевой фольги А5.

Марка фольги	Временное сопротивление σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , % не менее
А5	40	3

Известно, что чем тоньше алюминиевая фольга в композите Al - Al₂O₃, тем выше его прочностные характеристики. Исходя из этого, предлагается следующая технологическая схема изготовления слоистого композита: сделать набор пластин из алюминиевой фольги и совместно прокатать их, доведя толщину слоя до микро- и наноразмеров. При этом на каждую пластину предварительно нанести слой оксида алюминия.

Из фольги А5 вырезали пластины размером 0,08x50x150 мм. Перед нанесением смеси из порошков Al и Al₂O₃, обе стороны каждой алюминиевой пластины подвергали обезжириванию ацетоном.

Оксид алюминия по сути своей является неметаллическим включением и поэтому, естественно, с алюминием не образует металлической связи (адгезии). Если на Al фольгу нанести только порошок Al_2O_3 , то потребуются большая температура и степень деформации пакета, чтобы образовались разломы в слое керамики, через которые бы мог «экструдировать» алюминий для образования соединения между пластинами. Вследствие непрочного соединения слоев Al, существует большая вероятность расслоения композита в процессе прокатки. В связи с этим большой научный интерес представляет вопрос того, каким по толщине должен быть слой из оксида алюминия, чтобы при деформации пластичный алюминий проник в слой Al_2O_3 , а жесткие частицы оксида алюминия внедрились в алюминиевую основу, и, тем самым, обеспечили бы достаточную прочность соединения слоев между собой. Поэтому изучение переходной зоны между слоями имеет большое значение.

В ходе данной работы было предложено искусственно создать переходную зону из смеси порошков Al и Al_2O_3 , размеры частиц которых составили 25- 40 нм и 20-30 нм соответственно. Благодаря этому при прокатке под действием давления смесь из порошков уплотняется и при достаточных степенях деформации нанопорошок Al обволакивает частицы керамики Al_2O_3 и образует металлическую связь с алюминиевыми пластинами из фольги. При этом происходит диффузия частиц Al_2O_3 вглубь фольги и их распределение в объеме металла.

Смесь из нанопорошков Al и Al_2O_3 готовилась в разных пропорциях: 99% Al + 1% Al_2O_3 ; 97% Al + 3% Al_2O_3 ; 95% Al + 5% Al_2O_3 ; 90% Al + 10% Al_2O_3 ; 85% Al + 15% Al_2O_3 ; 75% Al + 25% Al_2O_3 ; 50% Al + 50% Al_2O_3 .

Исследовали несколько различных способов нанесения смеси из порошков Al и Al_2O_3 на поверхности пластин: засыпка на алюминиевые полосы, приготовлении суспензии из порошков и ее распыление, нанесения суспензии кистью. Лучшие результаты были зафиксированы при нанесении суспензии из порошков с использованием кисти. При других способах наблюдалось наличие непокрытых участков поверхностей пластин, более неравномерное распределение порошка.

Для приготовления суспензии в полученную смесь порошков вводилась связующая жидкость. В качестве связующих жидкостей были исследованы поливиниловый спирт, вода, денатурат спирта. Наиболее приемлемым оказался поливиниловый спирт в соотношении 100 мл воды на 3 г порошка. Полученная суспензия наносилась на одну из сторон каждой алюминиевой пластины (рисунок 1).

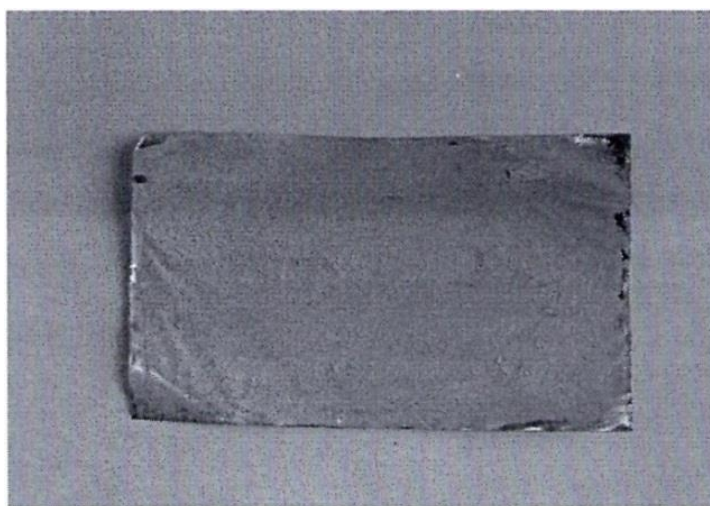


Рис. 1. Поверхность алюминиевой фольги с нанесенной суспензией из смеси порошков Al и Al_2O_3

Затем пластины из алюминиевой фольги с нанесенным слоем из смеси порошков Al и Al_2O_3 , собирали в пакеты по 30-120 слоев. Помимо этого был приготовлен образец из 60 слоев алюминиевой фольги без нанесения на поверхность пластин порошка.

Толщину искусственно нанесенного слоя из порошков Al и Al₂O₃ оценивали по привесу. Для этого пакеты из 30-120 слоев фольги обезжиривали ацетоном и обезвоживали спиртом, взвешивали на аналитических весах с точностью до 5-го знака. После нанесения кистью суспензии на поверхность фольги и ее просушки, а так же после сборки пластин в пакеты их вновь взвесили на аналитических весах. По изменению массы пакета оценивали толщину покрытия при допущении равномерного распределения суспензии по поверхности фольги. По полученным данным толщина нанесенного слоя из смеси порошков Al и Al₂O₃ составила от 5 до 16 мкм.

Подготовленные пакеты скрепляли с двух концов алюминиевыми заклепками, во избежание смещения пластин друг относительно друга при прокатке. Затем пакеты предварительно осаждали на гидравлическом прессе при следующих параметрах процесса:

- предварительный нагрев пакетов в течение 40 мин при температуре 400°C;
- нагрузка 70 т;
- время выдержки под давлением 2-3 мин.

После прессования пакеты прокатывали на стане «ДУО-300» и «Кватро» с различными степенями обжатия за проход. Перед прокаткой образцы из слоистого композиционного материала Al - Al₂O₃ нагревали в камерной печи для обеспечения большей диффузии, повышения пластичности Al, что в свою очередь приведет к увеличению прочности связи между слоями металла и распределению частиц керамики. Кроме того, поскольку во время захвата пакета валками происходит смещение полос в направлении прокатки, первичную деформацию проводили в стальных обкладках.

В работе был исследован температурный интервал 350-450 °С, степень обжатия в диапазоне 5-20 % за проход. По критерию прочности соединения без расслоений слоев явились следующие параметры процесса прокатки: температура 400 °С, степень обжатия за проход 8-15 % на стане «ДУО-300», 10-20 % - на стане «Кватро». После прокатки образцов на стане «ДУО-300» снимались обкладки. В результате были получены образцы толщиной 0,3 мм.

После прокатки и вырезки необходимых образцов проводили рекристаллизационный отжиг в течение одного часа при температуре 300 °С.

Испытания на растяжение для композитов с различным содержанием частиц керамики в исходной смеси, проведенные на машине «Инстрон» с компьютерной обработкой результатов, показали следующее:

- с увеличением содержания Al₂O₃ от 1 до 10 % в исходной смеси порошков наблюдается повышение прочностных характеристик;
- при дальнейшем увеличении содержания Al₂O₃ от 10 до 25 % было зафиксировано уменьшение предела прочности и текучести.

Средние значения механических свойств слоистого композиционного материала Al - Al₂O₃ представлены в табл. 5.

Таблица 5.

Механические свойства композита Al - Al₂O₃.

№ образца	Предел текучести σ _T , МПа	Предел прочности σ _B , МПа	Относительное удлинение δ, %
1 (25 % Al ₂ O ₃)	86	94	4,48
2 (25 % Al ₂ O ₃)	91	99	3,53
3 (15 % Al ₂ O ₃)	110	112	1,09
4 (10 % Al ₂ O ₃)	114	124	3,14
5 (5 % Al ₂ O ₃)	86,5	92,5	2,1
6 (3 % Al ₂ O ₃)	85	88,5	2,16
7 (1 % Al ₂ O ₃)	82,5	87	1,33
8 (0 % Al ₂ O ₃)	82	85,5	1,71

Схематически технология производства слоистого композиционного материала системы Al - Al₂O₃ представлена на рисунке 2.

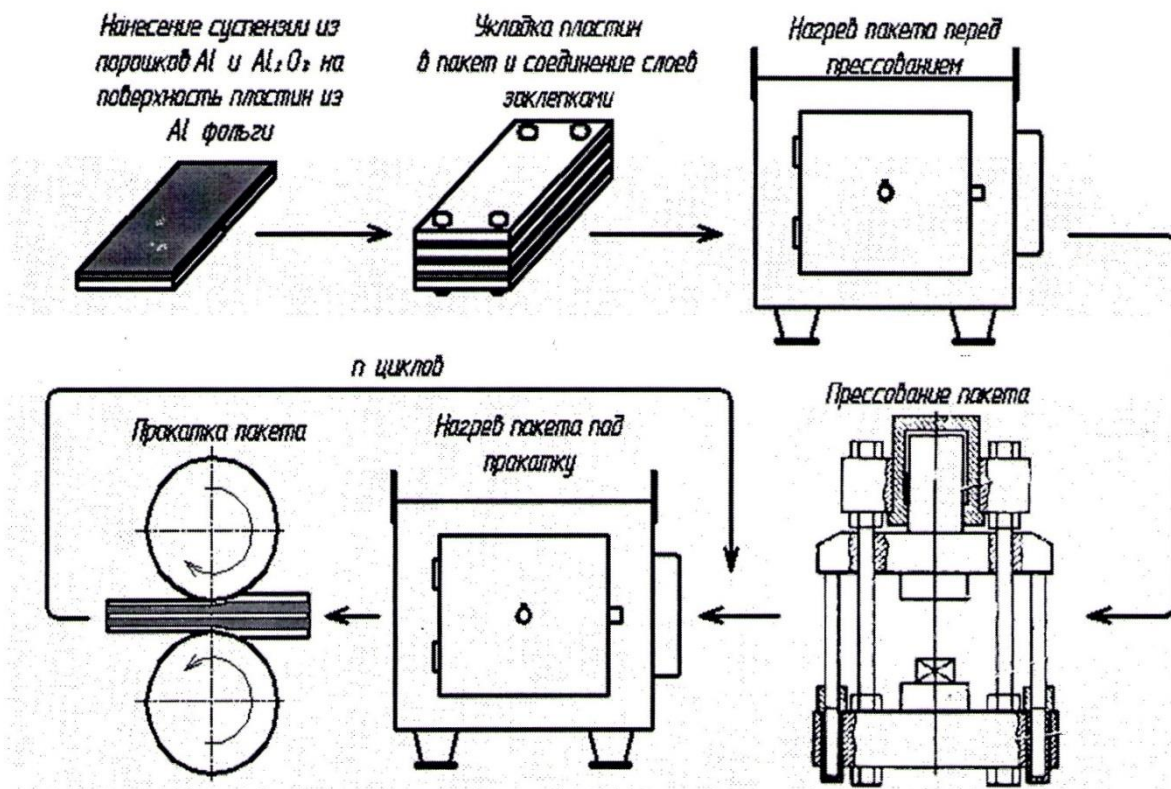


Рис. 2. Технология производства слоистого композиционного материала системы Al - Al₂O₃

Выводы

1. Под действием достаточного давления и температуры порошок чистого алюминия обволакивает частицы Al₂O₃ и образует металлическую связь с Al фольгой.

2. При повышении степени деформации уменьшается количество видимых расслоений, пористость, композит уплотняется, частицы порошка более равномерно распределяются по объему.

3. Увеличение температуры приводит к уменьшению сопротивления пластического течения металла; увеличению скорости диффузии; уменьшению значения степени деформации, необходимой для начала образования связей между слоями алюминия. В конечном итоге повышается прочность композиционного материала.

4. При увеличении содержания Al₂O₃ от 10 до 25 % было зафиксировано уменьшение предела прочности и текучести, что объясняется отсутствием прочной связи между алюминиевыми пластинами, наличием пористости из-за недостаточной степени деформации при таком содержании керамики, что подтверждается снимками микроструктуры образцов. Наличие порошка керамики уменьшает коэффициент трения на границе раздела, так как он выступает в роли смазочного материала, следовательно, нужна большая степень деформации. Также можно повысить температуру прокатки до 450 °С для увеличения диффузии.

Литература

1. Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин, В.И. Силаева. Материаловедение. Учебник для технических вузов. 5-е издание. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 — 646 с.

2. *И.Н. Фридляндер.* Аллюминиевые сплавы. М.: Металлургия, 1978 — 192 с.
3. *Дриц М.Е.* Структура и свойства легированной алюминировой фольги / *М.Е. Дриц, Э.С. Каданер, Л.С. Торопова.* - М.: Металлургия, 1975 - 184 с.
4. *Трыков, Ю.П.* Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов / *Ю.П. Трыков, Л.М. Гуревич, В.Г. Шморгунов.* - М.: Металлургиздат, 2004. - 230с.
5. *Мэтьюз Ф.* Композитные материалы. Механика и технология / *Ф. Мэтьюз, Р. Ролингс.* - М.: Техносфера, 2004. - 408 с.